

## 明 細 書

### 固体撮像装置、その製造方法およびカメラ

#### 技術分野

[0001] 本発明は、デジタルカメラ等に搭載される固体撮像装置に関するものである。

#### 背景技術

[0002] 固体撮像装置に関しては、様々な技術が提案されている(例えば、特許文献1参照。 )。

[0003] 図1は、従来の固体撮像装置の一例を示す図である。この固体撮像装置110では、単位画素1が二次元状に配列されており、各行が垂直シフトレジスタ2により選択され、その行信号が水平シフトレジスタ3により選択されて画素毎のカラー信号が出力アンプ4から出力される。周辺の駆動回路5は、垂直シフトレジスタ2、水平シフトレジスタ3および出力アンプ4を動作させる。

[0004] 図2は、従来の固体撮像装置の画素部の断面図である。固体撮像装置100(図2では、3画素分のみ示している。)では、N型層6上にP型層7が形成され、P型層7内にフォトダイオード8が形成されている。フォトダイオード8間を分離する分離領域14上に光を遮断する遮光膜9が形成されている。また、フォトダイオード8上には、層間絶縁膜12と、各画素に対応する色光のみを透過させるカラーフィルタ10a～10cと、入射光13を集光するマイクロレンズ21とが形成されている。

[0005] このように、従来の固体撮像装置100では、各フォトダイオード8の上方に形成されたマイクロレンズ21で入射光13が集光され、集光された光のうちカラーフィルタ10a～10cを透過する光のみがフォトダイオード8に入射し、フォトダイオード8で電荷に変換される。

特許文献1:特開平06-61462号公報

#### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、従来の固体撮像装置100の構成では、マイクロレンズ21の高さが製造バラツキなどにより高く形成された場合、マイクロレンズ21の中心付近に垂直に入

射する光はマイクロレンズ21を通過してフォトダイオード8に入射することができるが、マイクロレンズ21の中心から離れた最下部付近に入射する光は大きな屈折を受けるため、フォトダイオード8に入らないで素子分離部14に入射してしまう。このため、その光はフォトダイオード8で光電変換できなくなり、結局、固体撮像装置の受光感度の低下につながるという問題がある。さらに、この受光感度の低下は、画素サイズが微細になればなるほど顕著になるという傾向にある。さらに、この問題により、歩留りが悪くなるので、最近の固体撮像装置の大きな課題となっている。

- [0007] また、固体撮像装置における周辺付近の画素においては、入射光の入射角が大きくなる。これは、最近の固体撮像装置の薄型化に伴って顕著な傾向となっている。そのため、従来の固体撮像装置の構造では周辺付近の画素の集光効率が低下してしまい、画質の悪化につながるという問題がある。
- [0008] また、入射光の波長(色)によりマイクロレンズ21の焦点距離が変化するために画質の劣化が生じるので、各画素に対応する色に対して、各マイクロレンズ21の形状を最適なものとするのが望ましいが、従来のマイクロレンズ21の構成や製造方法ではこれを達成することはきわめて困難である。
- [0009] また、P型層7内でのフォトダイオード8の形成場所が、固体撮像装置のサイズの微小化に伴う構造上の制約等により、必ずしも中央ではなく偏って形成される場合も多い。この場合、従来の凸形状のマイクロレンズを用いた構成では、高精度に形成位置を制御することは困難である。
- [0010] また、同心円的な屈折率周期構造を有する透過層による集光の方法も提案されているが、現状の技術では透過層の膜厚を安定して十分な厚さに形成することができないので、光路長を十分に確保することができず、そのため入射光を十分集光することができない。集光率を向上するためには透過層の膜厚を十分に確保する必要があるが、現状の製造方法や材料を用いたのでは実現困難である。
- [0011] 本発明は、製造バラツキの影響が少なく集光効率の高い集光素子を備えた、高感度な固体撮像装置およびカメラを提供することを目的とする。
- [0012] さらに、本発明は、入射光の集光率の高い、高感度な固体撮像装置、および、その固体撮像装置の生産性の高い製造方法を提供することを第2の目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0013] 上記目的を達成するために、本発明に係る固体撮像装置は、単位画素が二次元状に複数配列された固体撮像装置であって、各前記単位画素は、入射光を光電変換する光電変換手段と、前記光電変換手段の上方に形成され、光を透過させる凸状の透過層と、前記透過層の上部およびその周辺に形成され、入射光を集光して前記透過層に出射する凹凸形状のレンズ層とを備える。
- [0014] この構造により、従来技術におけるマイクロレンズの高さなどの製造バラツキが低減され、安定したレンズ形状を精度よく形成することができ、集光効率が高くなり画質の向上につながる。また、固体撮像装置の微細化が進んでも高歩留りが可能となる。
- [0015] さらに、前記レンズ層は、面内方向に周期幅が一定で分割された複数のゾーン毎に、前記周期幅に対して線幅の合計の占める割合が互いに異なる、同心円状を有する光透過膜を備えることとしてもよい。
- [0016] さらに、前記透過層の屈折率は、前記レンズ層の屈折率より大きいことを特徴とする。これにより、より効果的に入射光を集光することができる。
- [0017] さらに、前記固体撮像装置は、前記光電変換手段の上方に形成され、所定の波長領域の光のみを透過させる波長分離手段を備え、前記透過層の厚さおよび幅は、前記所定の波長領域の光に対して所定の焦点距離になるように設定してもよい。
- [0018] これにより、透過層の上部に形成されるレンズ層の表面の曲率が画素毎に設定できるので、各画素に対応する色の波長の光に最適な焦点距離が設定でき、従来技術では色の違いによって集光率が低下することによって生じていた画質の劣化特性を改善することができる。
- [0019] さらに、前記レンズ層は、BPSG膜、TEOS膜、ベンゾシクロブテンおよびポリイミド系樹脂のいずれかから成ることを特徴とする。
- [0020] これらの粘着性の高い材料を用いて層を形成することにより、製造工程において自然と凹凸状のレンズ形状が形成でき、さらに、レンズの高さなどの製造バラツキが低減でき、高歩留りが可能となる。
- [0021] また、前記透過層は、画素中心から周辺になるにつれて膜厚が減少する部分を有することを特徴とする。

[0022] これにより、透過層は、画素の中央部から周辺部につれて膜厚が小さくなる凸レンズ形状を部分的に有することとなるため、レンズによる集光効果も併せもち、集光率がさらに向上する。

[0023] また、前記レンズ層は、偏心させた同心状の形状を有するように構成してもよい。  
さらに、上記目的を達成するために、本発明に係る製造方法は、単位画素が二次元状に複数配列された固体撮像装置の製造方法であって、各前記単位画素は、入射光を光電変換する光電変換手段と、前記光電変換手段の上方に形成され、光を透過させる凸状の透過層と、前記透過層の上部およびその周辺に形成され、入射光を集光して前記透過層に出射する凹凸形状のレンズ層とを備え、土台上に前記透過層の材料層を形成する工程と、前記材料層の上部にレジストを形成する工程と、画素中心から周辺になるにつれて前記レジスト間の間隔が広くなるようにパターンを形成する工程と、前記パターン外の前記材料層が残存する時点でエッチングを終了する工程とを含むことを特徴とする。

[0024] パターンの狭い箇所ほど物理的エッチングの進行速度が遅く、広い箇所ほど進行速度が速いので、パターンの狭い画素中央部ほど透過層の材料層が多く残存し、周辺部へ行くにつれて少なくなることになる。したがって、凸レンズ形状を部分的に有する、集光率の高い透過層を形成することができる。

[0025] また、上記目的を達成するために、本発明に係るカメラは、単位画素が二次元状に複数配列された固体撮像装置を備えるカメラであって、各前記単位画素は、入射光を光電変換する光電変換手段と、前記光電変換手段の上方に形成され、光を透過させる凸状の透過層と、前記透過層の上部およびその周辺に形成され、入射光を集光して前記透過層に出射する凹凸形状のレンズ層とを備えることを特徴とする。これにより、感度の高いカメラを実現することができる。

#### 発明の効果

[0026] 本発明に係る固体撮像装置によれば、製造工程において自然と凹凸状のレンズ形状が形成でき、レンズの高さなどの製造バラツキが低減できるので、安定したレンズ形状を形成することができ、集光効率の高い高感度な固体撮像装置を実現することができる。また、固体撮像装置の微細化が進んでも高歩留りが可能となる。また、各

画素に対応する色に対して各レンズの形状を変化させて焦点距離を最適にできるので、さらに集光効率を向上することができる。さらに、固体撮像装置の周辺付近に位置し、斜め光が入射する画素においても、レンズの形成位置を精度よく設定できるので集光効率の向上が実現できる。

[0027] さらに、本発明に係る固体撮像装置によれば、透過層での光路長を十分に確保することができ、入射光を十分集光することができるため、集光率を向上することができる。したがって、本透過層を備えた固体撮像装置は、高い感度特性を有する。さらに、レンズによる集光効果も併せもった構造を有する場合には、集光率がさらに向上できる。

[0028] また、その製造方法において、通常のリソ工工程において、屈折率周期構造を有する透過層が形成可能となるとともに、 $\mu\text{m}$ オーダー以上の膜厚の形成が極めて安定かつ容易になる。

#### 図面の簡単な説明

[0029] [図1]従来の固体撮像装置の一例を示す図である。

[図2]従来の固体撮像装置の画素部の断面図である。

[図3]本発明の実施の形態1に係る固体撮像装置の画素部の断面図である。

[図4]本発明の実施の形態2に係る固体撮像装置の画素部の断面図である。

[図5](a)～(e)は、本発明の実施の形態3に係る固体撮像装置の集光部の製造方法を説明するための図である。

[図6]本発明の実施の形態4に係る固体撮像装置における画素部の断面図である。

[図7]本発明の実施の形態4に係る固体撮像装置における透過層の上面図である。

[図8](a)、(b)は、本発明の実施の形態4に係る固体撮像装置の集光作用を説明するための図である。説明図である。

[図9]本発明の実施の形態5に係る固体撮像装置における透過層の断面図である。

[図10](a)～(e)は、上記実施の形態4に係る固体撮像装置における透過層の製造工程を示す図である。である。

[図11](a)～(c)は、上記実施の形態4に係る固体撮像装置における透過層のその

他の製造工程を示す図である。

[図12](a)～(e)は、上記実施の形態5に係る固体撮像装置における透過層の製造工程を示す図である。

[図13](a)は、本発明の実施の形態8に係る固体撮像装置の画素部の断面図及び上面図である。(b)は本発明の実施の形態8に係る固体撮像装置の周辺にある画素部の上面図である。

[図14](a)～(g)は、上記実施の形態8に係る固体撮像装置における透過層の製造工程を示す図である。

[図15](a)、(b)は、本発明の実施の形態8に係る固体撮像装置における透過層の変形例の断面図である。

[図16](a)、(b)は、本発明の実施の形態8に係る画素部の変形例を示す図である。

[図17]本発明の実施の形態8に係る、正六角形の固体撮像素子を平面的に配置した例を示す図である。

#### 符号の説明

[0030]	1	単位画素
	2	垂直シフトレジスタ
	3	水平シフトレジスタ
	4	出力アンプ
	5	周辺領域の駆動回路
	6	N型層
	7	P型層
	8	フォトダイオード
	9	遮光膜
	10、10a～10c	カラーフィルタ
	11、41	レンズ層
	12	層間絶縁膜
	13、23	入射光
	14	素子分離

15、15a～15c、17	透過層
21	マイクロレンズ
51、202、302	高屈折率材料
52	低屈折率材料(空気)
100～102	固体撮像装置(3単位画素分)
110	固体撮像装置
201、301	土台
202	透過層材料
203、303	レジスト
204	レンズ層材料
205	固体撮像装置
401a	固体撮像装置
401b	固体撮像装置
501	土台
502	透過層材料
503	レジスト
504	レンズ層材料
511	土台
512	土台
601a	単位画素
601b	単位画素
601c	単位画素

#### 発明を実施するための最良の形態

[0031] 以下、図面を参照しながら、本発明に係る固体撮像装置について説明を行う。なお、本発明について、以下の実施の形態および添付の図面を用いて説明を行うが、これは例示を目的としており、本発明はこれらに限定されることを意図しない。

[0032] (実施の形態1)

図3は、本発明の実施の形態1に係る固体撮像装置における画素部の断面図であ

る。図3に示す固体撮像装置101(3画素分のみ示している。)では、N型層6上にP型層7が形成され、P型層7内にフォトダイオード8が形成されている。フォトダイオード8間を分離する分離領域14の上方に光を遮断する遮光膜9が形成されている。またフォトダイオード8上には、層間絶縁膜12と、各画素に対応する色光のみを透過させるカラーフィルタ10a～10cと、入射光13を集光するための本発明に係る垂直形状の透過層15と、透過層15の上部および周辺に形成された凹凸形状を有するレンズ層11とが形成されている。なお、透過層15の形状は直方体であっても円柱等でもよい。また、透過層15の屈折率は、レンズ層11の屈折率よりも大きくなるように材料選定されている。

[0033] この構成によって、入射光13は凹凸形状を有するレンズ層11の表面で屈折し、さらに、垂直形状の透過層15の表面でも屈折して、効率的に集光される。すなわち、後述するように、製造工程において従来技術におけるマイクロレンズの高さなどの製造バラツキが低減され、安定したレンズ形状を精度よく形成することができ、集光効率が高くなり画質の向上につながる。また、固体撮像装置の微細化が進んでも高歩留りが可能となる。

[0034] (実施の形態2)

図4は、本発明の実施の形態2に係る固体撮像装置における画素部の断面図である。固体撮像装置102では、本発明に係る垂直形状の透過層の幅および高さがRGBの各色に対応する単位画素によってそれぞれ最適に変更されており、それに応じてレンズ層11の凹凸形状が変化して、各色の光に対する焦点距離がそれぞれ最適に設定されているところが、実施の形態1と異なる。特に、短波長側においては、透過層15の屈折率が大きくなり、逆に長波長側においては、透過層15の屈折率が小さくなるために、透過層の大きさを調整する必要がある。

[0035] 透過層15a、15bおよび15cでは、透過層15aが最も幅が小さく高さが高くなっており、透過層15aは赤色(R)用に用いる透過層となる。一方、透過層15cでは最も幅が大きく高さが低くなっており、青色(B)用に相当し、透過層15bは、その中間の値を有し、緑色(G)用に用いるものである。この画素毎のレンズ構造の変更により、RGBのそれぞれの光の焦点距離が各画素で最適に設定されるので、各画素の集光効率



が実施の形態1よりもさらに向上し、色収差の影響が極めて低減された固体撮像装置を実現することができる。

[0036] (実施の形態3)

図5(a)～(e)は、本発明の実施の形態3に係る固体撮像装置の集光素子の製造方法を説明するための図である。

[0037] まず、図5(a)に示すように、土台201(上記実施の形態1および2では、カラーフィルタ10a～10c)の上部に、通常の膜形成技術を用いて、SiO<sub>2</sub>からなる透過層材料202を形成する。次に、図5(b)に示すように、透過層材料202の上部にレジスト203を形成し、図5(c)に示すように、フォトリソ技術を用いて、所定の場所以外のレジスト203を除去する。さらに引き続き、図5(d)に示すように、ドライエッチング技術を用いて、所定領域外の透過層材料202を除去する。次に、図5(e)に示すように、SiO<sub>2</sub>と比較して粘性の高い材料(BPSG膜、TEOS膜、ベンゾシクロブテンおよびポリイミド系樹脂等)を用いて、CVD法やスピコート法などによってウエハ全体にレンズ層204の形成を実施する。CVD法によってBPSG膜、あるいはTEOS膜を形成した後、600度、30分程度の熱処理(アニール)を行う。また、ベンゾシクロブテンおよびポリイミド系樹脂等の場合、スピコート法によって形成した後、完全に水分を除去させるために、300度～350度、1時間程度のベーク(キュア)を実施する。このように粘性の高い材料を用いた場合、ウエハ表面上の垂直形状の透過層202全体を被覆するように膜形成が行われるとともに、膜形成を行った後、熱処理を実施することによって、パターンの角ばった形状において丸みを持たせることが可能となる。結果的に、SiO<sub>2</sub>からなる垂直形状の透過層202を中心にして、レンズ層204によって凹凸状の形状が実現可能となる。

[0038] なお、レンズ層204の曲率などは、垂直形状の透過層202の幅および高さ、およびレンズ層204の材料や膜厚、製造時の温度等の条件によって決定される。

[0039] 以上説明を行った製造手法を用いることによって、制御性よく凹凸のレンズ形状が形成されるので、従来技術で問題となっているレンズの形成高さや位置などの製造バラツキが低減でき、高歩留りが可能となる。さらに、半導体プロセスを用いることができるため、レンズの形成場所の位置合わせも精度よく行うことができるので、特に斜

め光が入射する固体撮像装置の周辺部の画素において、フォトダイオードの中心上よりも固体撮像装置の中央よりにレンズを形成することで集光効率の向上がさらに図られ、色収差の影響も低減できる。

[0040] また、本発明に係る固体撮像装置を備えたカメラは、高い感度特性を実現することができる。

[0041] (実施の形態4)

図6は、本発明の実施の形態4に係る固体撮像装置205における画素部の断面図である。図6に示す固体撮像装置205(3画素分のみ示している。)では、N型層6上にP型層7が形成され、P型層7内にフォトダイオード8が形成されている。フォトダイオード8間を分離する分離領域14の上方に光を遮断する遮光膜9が形成されている。またフォトダイオード8上には、層間絶縁膜12と、各画素に対応する色光のみを透過させるカラーフィルタ10a～10cと、入射光13を集光するための本発明に係る、透過層21とが形成されている。図6においては、入射波長を $0.5\mu\text{m}$ 、透過層を $\text{SiO}_2$ (屈折率:1.45)とした場合であり、膜厚としては、 $1.11\mu\text{m}$ である。

[0042] 図7は、本発明の実施の形態4に係る固体撮像装置205における透過層21の上面図である。図7では1画素分のみを示している。上記図6の透過層21は、高屈折率材料51および低屈折率材料(この実施の形態では、空気)52からなる同心円上の屈折率周期構造を有する。さらに、画素中央部のほうが周辺部に比べ高屈折率材料51の占める割合が高いため、実効屈折率が画素中心から周辺になるにつれて低く変化している。したがって、本透過層による導波作用によって入射光が集光され、集光された光はフォトダイオード8に入射し、電荷に変換される。また、高屈折率材料51と低屈折率材料52の構成比率、すなわち、各同心形状の半径や幅を調整することで、所定の波長の焦点距離を設定することができる。

[0043] ここで、図8(b)に示すように、従来のように膜厚が $L > \lambda / \Delta n$ を満たさない( $L < \lambda / \Delta n$ )透過層の場合、光路長が十分に確保されないため入射光の集光作用が十分に働かず、集光率の低下をまねいてしまうが、本透過層21では膜厚が $L > \lambda / \Delta n$ を満たす構成(入射波長を $0.5\mu\text{m}$ 、透過層を $\text{SiO}_2$ (屈折率:1.45)とした場合、膜厚は、 $1.11\mu\text{m}$ )であるので、光路長を十分に確保することができ、入射光を十分集

光することができるため、集光率を向上することができる(図8(a))。したがって、本透過層21を備えた固体撮像装置は、高い感度特性を有することとなる。

[0044] (実施の形態5)

図9は、本発明の実施の形態5に係る固体撮像装置における透過層の断面図である。透過層17は、 $1.11\mu\text{m}$ の膜厚(入射波長を $0.5\mu\text{m}$ 、透過層を $\text{SiO}_2$ (屈折率: 1.45)を有し、画素中心から周辺になるにつれて実効屈折率が減少する構造である。実施の形態4に係る透過層21と異なる点は、上記実施の形態4に係る透過層21における空隙部にも、画素中央部から周辺部につれてしだいに小さくなるような膜厚を有する層が形成されており、そのため全体として凸レンズ形状を含んだ構造となっているところである。このような透過層17の構造のため、上記実施の形態4に係る透過層21の集光効果に加え、レンズ形状による集光効果により集光率がさらに向上する。

[0045] (実施の形態6)

図10(a)～(e)は、上記実施の形態4に係る固体撮像装置の透過層の製造方法を説明するための図である。

[0046] まず、図10(a)に示すように、土台301(上記実施の形態4の場合では、カラーフィルタ10a～10c)の上部に、通常の膜形成技術を用いて、高屈折率材料の層302を形成する。次に、図10(b)に示すように、高屈折率材料の層302の上部にレジスト303を形成し、図10(c)に示すように、フォトリソ技術を用いて、所定の場所以外のレジスト303を除去する。さらに引き続き、ドライエッチング技術を用いて、所定領域外の高屈折率材料の層302を除去すると、図10(d)に示すように、所定領域の高屈折率材料の層302のみが残存し、最終的に図10(e)に示すように、レジスト303を除去することで、上記実施の形態4に係る透過層を形成することができる。

[0047] なお、高屈折率材料の層302には、BPSG膜、TEOS膜、ベンゾシクロブテンおよびポリイミド系樹脂のいずれかを用いる。

[0048] BやPを数%添加した $\text{SiO}_2$ 膜(BPSG膜)、およびTEOS膜を用いることで、サブ $\mu\text{m}$ 以上という膜厚の大きな、かつ、ワレなどの発生が起こりにくい透過層の形成を、通常の方法を用いるよりも安定して行うことができる。

[0049] また、ベンゾシクロブテンあるいはポリイミド系樹脂は、可視光領域での透過特性が高い特徴を有し、SiO<sub>2</sub>膜(BPSG膜)、およびTEOS膜と同様に高屈折率材料の層302上のレジスト303を除去後、ドライエッチング技術を用いて所望の同心円上の屈折率周期構造を形成することが可能となる。

[0050] ベンゾシクロブテンあるいはポリイミド系樹脂においては、感光性を有するタイプがあり、これらの材料を用いて透過層を形成することも可能である。図11には、感光性タイプのベンゾシクロブテンあるいはポリイミド系樹脂を用いた場合の製造方法を示している。図11(a)に示すように、フォトリソ工程に通常用いられているスピナー法によって、土台301の上部に、感光性タイプのベンゾシクロブテンあるいはポリイミド系樹脂からなる高屈折率材料の層302を形成する。露光前ベーク(プリベーク)を行った後、ステッパなどの露光装置を用いて露光を行い、現像、ベーク(キュア)を実施し、図11(c)に示す同心円上の屈折率周期構造を形成する。なお、図11(b)においては、ネガタイプ(露光された領域の層302が残り、未露光領域の層302が除去される)における実施の形態を示しているが、ポジタイプ(露光された領域の層302が除去され、未露光領域の層302が残る)を用いても差し支えない。以上から、通常フォトリソ工程によって、屈折率周期構造を有する透過層が形成可能となるとともに、サブ $\mu\text{m}$ 以上の膜厚の形成が極めて容易になる。

[0051] 以上説明を行った製造方法を用いることによって、制御性よく本発明に係る透過層が形成できる。さらに、半導体プロセスを用いることができるため、透過層の形成場所の位置合わせも精度よく行うことができ、斜め光が入射する固体撮像装置の周辺部の画素において、フォトダイオードの中心上よりも固体撮像装置の中央よりに透過層を形成することで集光効率の向上がさらに図られ、色収差の影響も低減できる。また、固体撮像装置の構造上の制約等によりフォトダイオードの形成位置がずれている場合であっても、透過層を最適な位置に精度よく形成することができる。

[0052] (実施の形態7)

図12(a)～(e)は、上記実施の形態5に係る固体撮像装置の透過層の製造方法を説明するための図である。

[0053] まず、図12(a)に示すように、土台301(上記実施の形態4の場合では、カラーフィ

ルタ10a～10c)の上部に、通常の膜形成技術を用いて、高屈折率材料の層302を形成する。次に、図12(b)に示すように、高屈折率材料の層302の上部にレジスト303を形成し、図12(c)に示すように、フォトリソ技術を用いて、所定の場所以外のレジスト303を除去する。さらに引き続き、ドライエッチングを用いて、所定領域外の高屈折率材料の層302を物理的に除去していくと、図12(d)に示すように、所定領域外の高屈折率材料の層302のうち、パターンの細い箇所ほどドライエッチングの進行速度が遅いので、画素中央部の高屈折率材料の層302ほど多く残存し、画素の周辺部へ行くにつれて高屈折率材料の層302が少なくなると残存する。したがって、ドライエッチングを最後まで行わずに途中で終了するようにし、次にレジスト203を除去することで、最終的に図12(e)に示すように、画素中央部から周辺部につれて膜厚が小さくなる部分、すなわち凸レンズ形状を部分に有する上記実施の形態5に係る透過層を形成することができる。

[0054] また、上記実施の形態4又は5に係る固体撮像装置を備えたカメラは、高い感度特性を実現することができる。

[0055] なお、以上説明を行った実施の形態では低屈折率材料に空気を用いているが、高屈折率材料よりも屈折率が小さい材料であればよい。

[0056] (実施の形態8)

図13(a)は、本実施の形態の形態に係る固体撮像装置における画素部の断面図である。図13(a)に示す固体撮像装置(3画素分のみ示している。)では、N型層6上にP型層7が形成され、P型層7内にフォトダイオード8が形成されている。さらに、フォトダイオード8間を分離する分離領域14の上方に光を遮断する遮光膜9が形成されている。また、フォトダイオード8上には、層間絶縁膜12と、各画素に対応する色光のみを透過させるカラーフィルタ10a～10cと、入射光13を集光するための本発明に係る垂直形状の透過層15と、透過層15の上部および周辺に形成されたレンズ層41とが形成されている。なお、透過層15の形状は直方体であっても円柱等でもよい。また、透過層15の屈折率は、レンズ層41の屈折率よりも大きくなるように材料選定されている。

[0057] さらに、図13(a)においては、入射光13のレンズ層41の表面における屈折作用を

さらに増やすために、レンズ層41の実行屈折率を画素中心から周辺になるにつれて徐々に減少させている。

- [0058] 具体的には、透過層41は、高屈折率材料および低屈折率材料(この実施の形態では、空気)からなる同心円上の屈折率周期構造を有する。さらに、画素中央部のほうが周辺部に比べ高屈折率材料の占める割合が高いため、実効屈折率が画素中心から周辺になるにつれて低く変化している。したがって、本透過層による導波作用によって入射光が集光され、集光された光はフォトダイオード8に入射し、電荷に変換される。また、高屈折率材料と低屈折率材料の構成比率、すなわち、各同心形状の半径や幅を調整することで、所定の波長の焦点距離を設定することができる。
- [0059] なお、画素部が固体撮像装置の周辺にある場合は、図13(b)に示すように、その位置に応じて偏心した同心形状としてもよい。
- [0060] 図14(a)～(e)は、本実施の形態8に係る固体撮像装置の透過層の製造方法を説明するための図である。
- [0061] まず、図14(a)に示すように、土台501の上部に、通常の膜形成技術を用いて、 $\text{SiO}_2$ からなる高屈折率材料の層502を形成する。次に、図14(b)に示すように、透過層材料502の上部にレジスト503を形成し、図14(c)に示すように、フォトリソ技術を用いて、所定の場所以外のレジスト503を除去する。さらに引き続き、図14(d)に示すように、ドライエッチング技術を用いて、所定領域外の透過層材料502を除去する。
- [0062] 次に、可視光領域での透過特性が高く、凹凸上においてもフレなどの発生が起こりにくい材料であるベンゾシクロブテンあるいはポリイミド系樹脂を形成する。図14(a)に示すように、フォトリソ工程に通常用いられているスピナー法によって、土台501の上部に、感光性タイプのベンゾシクロブテンあるいはポリイミド系樹脂からなる高屈折率材料の層504を形成する。露光前ベーク(プリベーク)を行った後、ステッパなどの露光装置を用いて露光を行い、現像、ベーク(キュア)を実施し、図14(g)に示す同心円上の屈折率周期構造を形成する。なお、図14(g)においては、ネガタイプ(露光された領域の層504が残り、未露光領域の層504が除去される)における実施の形態を示しているが、ポジタイプ(露光された領域の層504が除去され、未露光領域の

層504が残る)を用いても差し支えない。なお、レンズ層504の曲率などは、垂直形状の透過層502の幅および高さ、およびレンズ層504の材料や膜厚、製造時の温度等の条件によって決定される。

[0063] 以上説明を行った製造方法を用いることによって、制御性よく同心円状のレンズ形状が形成できるので、従来技術で問題となっている、レンズの形成高さや位置などの製造バラツキを低減することができ、高歩留まりが可能となる。さらに、半導体プロセスを用いることができるため、レンズの形成場所の位置合わせも精度よく行うことができるので、特に斜め光が入射する固体撮像装置の周辺部の画素において、フォトダイオードの中心上よりも固体撮像装置の中央よりにレンズを形成することで集光効率の向上がさらに図られ、色収差の影響も低減できる。

[0064] なお、

図15(a)、(b)は、本発明の実施の形態8に係る固体撮像装置における透過層の変形例の断面図である。上記図14(g)と同様に、透過層の上部およびその周辺にレンズ層が形成されている。

[0065] 図16は、本実施の形態に係る画素部の変形例を示す図である。上記図13では、面内方向における同心状の形状(即ち、水平面で切断した場合の断面形状)が円の例を示したが、図16(a)に示す画素部は正六角形であり、また、図16(b)に示す画素部は正方形である。

[0066] 図17は、本実施の形態に係る、面内方向において同心状で相似な形状が正六角形の画素部を平面的に配置した例を示す図である。この場合は、RGBの何れか1つの光成分だけを透過させる3種類の正六角形の画素部を、隙間なくかつ互いに同種のものが隣り合わないよう配置している。このように画素部をハニカム状に配列すると、正方格子状に配列する場合に比べて、各画素部のフォトニック結晶において隅の部分の集光できない領域が減少する。そのため、集光効率が向上する。さらに、画素部をハニカム状に配列し、フォトニック結晶からなる光学素子の面内方向において同心状で相似な形状を六角形とすると、集光できない領域がほとんど発生しない。そのため、集光効率がさらに向上する。

産業状の利用分野

[0067] 本発明に係る固体撮像装置およびその製造方法は、デジタルスチルカメラや携帯電話用のカメラなどに利用されるイメージセンサとして有用である。



## 請求の範囲

- [1] 単位画素が二次元状に複数配列された固体撮像装置であって、  
各前記単位画素は、  
入射光を光電変換する光電変換手段と、  
前記光電変換手段の上方に形成され、光を透過させる凸状の透過層と、  
前記透過層の上部およびその周辺に形成され、入射光を集光して前記透過層に  
出射する凹凸形状のレンズ層とを備える  
ことを特徴とする固体撮像装置。
- [2] 前記レンズ層は、面内方向に周期幅が一定で分割された複数のゾーン毎に、前記  
周期幅に対して線幅の合計の占める割合が互いに異なる、同心円状を有する光透  
過膜を備える  
ことを特徴とする請求項1記載の固体撮像装置。
- [3] 前記透過層の屈折率は、前記レンズ層の屈折率より大きい  
ことを特徴とする請求項1記載の固体撮像装置。
- [4] 前記固体撮像装置は、さらに、  
前記光電変換手段の上方に形成され、所定の波長領域の光のみを透過させる波  
長分離手段を備え、  
前記透過層の厚さおよび幅は、前記所定の波長領域の光に対して所定の焦点距  
離になるように設定されている  
ことを特徴とする請求項1記載の固体撮像装置。
- [5] 前記レンズ層は、BPSG膜、TEOS膜、ベンゾシクロブテンおよびポリイミド系樹脂  
のいずれかから成る  
ことを特徴とする請求項1記載の固体撮像装置。
- [6] 前記透過層は、画素中心から周辺になるにつれて膜厚が減少する部分を有する  
ことを特徴とする請求項1記載の固体撮像装置。
- [7] 前記レンズ層は、偏心させた同心状の形状を有する  
ことを特徴とする請求項1記載の固体撮像装置。
- [8] 単位画素が二次元状に複数配列された固体撮像装置の製造方法であって、

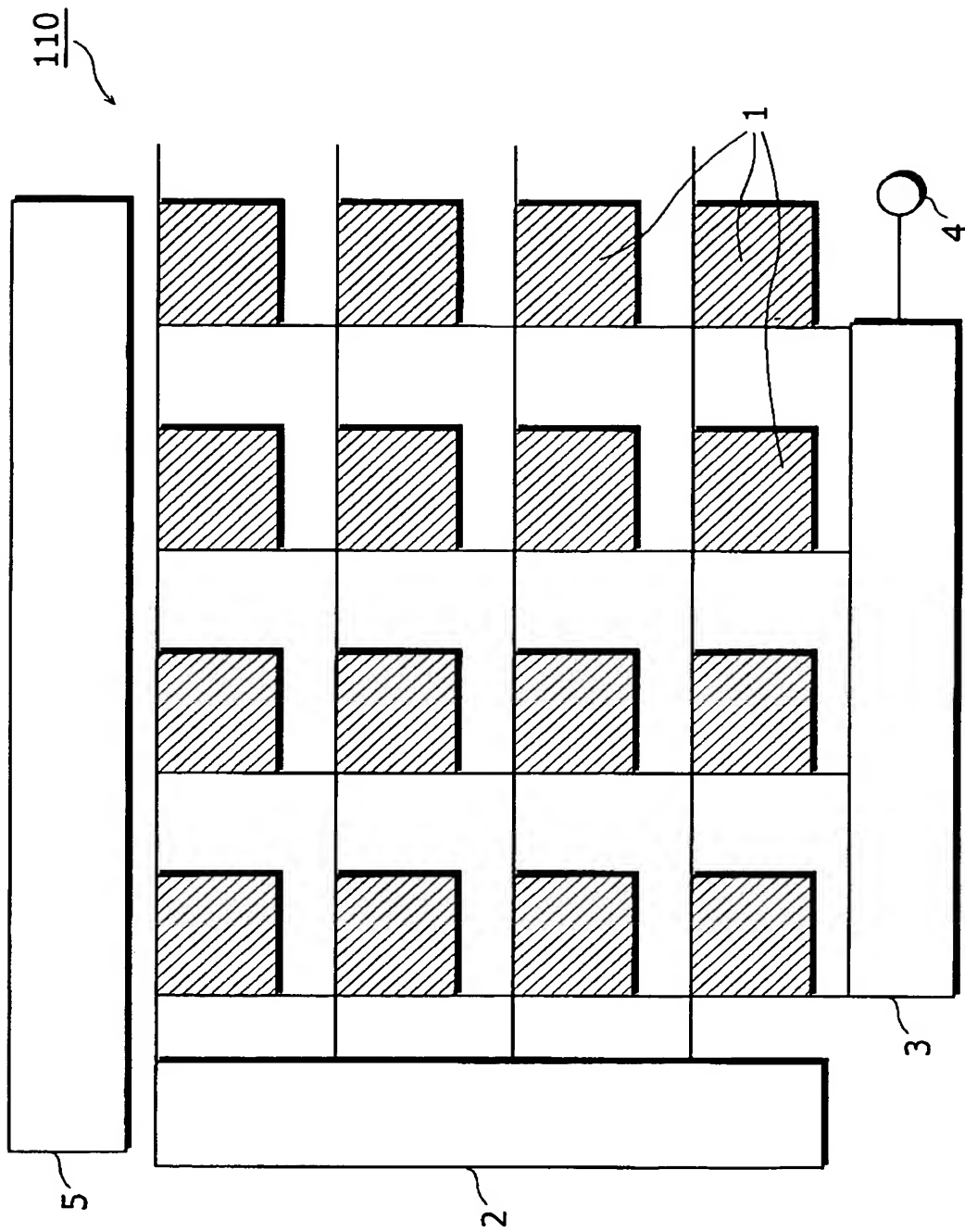
各前記単位画素は、  
 入射光を光電変換する光電変換手段と、  
 前記光電変換手段の上方に形成され、光を透過させる凸状の透過層と、  
 前記透過層の上部およびその周辺に形成され、入射光を集光して前記透過層に  
 出射する凹凸形状のレンズ層とを備え、  
 土台上に前記透過層の材料層を形成する工程と、  
 前記材料層の上部にレジストを形成する工程と、  
 画素中心から周辺になるにつれて前記レジスト間の間隔が広くなるようにパターン  
 を形成する工程と、  
 前記パターン外の前記材料層が残存する時点でエッチングを終了する工程とを含む  
 ことを特徴とする固体撮像装置の製造方法。

- [9] 単位画素が二次元状に複数配列された固体撮像装置を備えるカメラであって、  
 各前記単位画素は、  
 入射光を光電変換する光電変換手段と、  
 前記光電変換手段の上方に形成され、光を透過させる凸状の透過層と、  
 前記透過層の上部およびその周辺に形成され、入射光を集光して前記透過層に  
 出射する凹凸形状のレンズ層とを備える  
 ことを特徴とするカメラ。

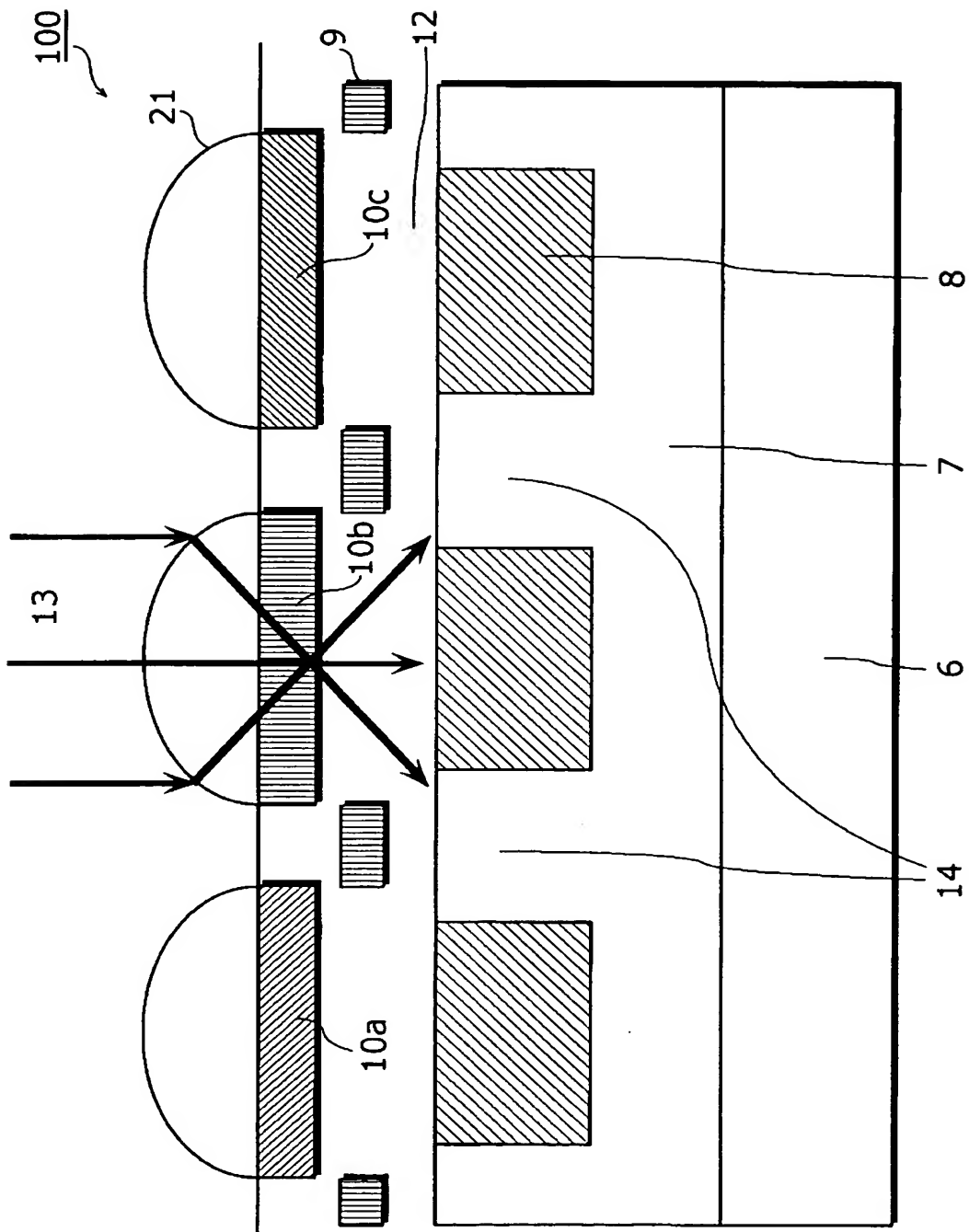
## 要 約 書

製造バラツキの影響が少なく集光率の高い集光素子を備えた、高感度な固体撮像装置を実現するため、入射光13を光電変換するフォトダイオード8と、フォトダイオード8の上方に形成され、光を透過させる凸状の透過層15と、透過層15の上部および周辺に形成され、入射光13を集光して透過層15に出射する凹凸状のレンズ層11とを備える。透過層15の屈折率は、レンズ層11の屈折率より大きい。透過層15の厚さおよび幅は、所定の波長の光に対して所定の焦点距離になるように設定されている。レンズ層11は、BPSG膜、TEOS膜、ベンゾシクロブテンおよびポリイミド系樹脂のいずれかから成る。

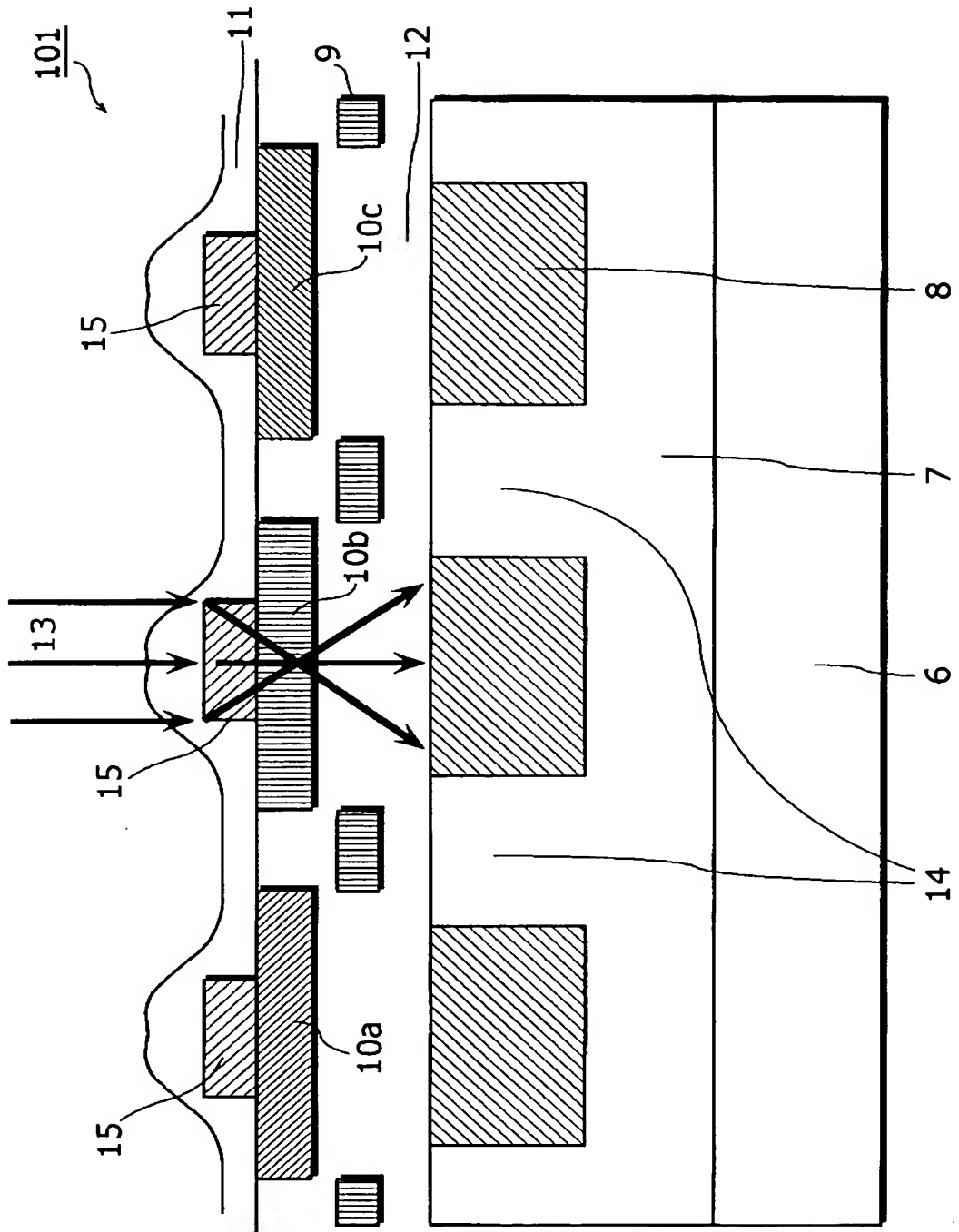
[図1]



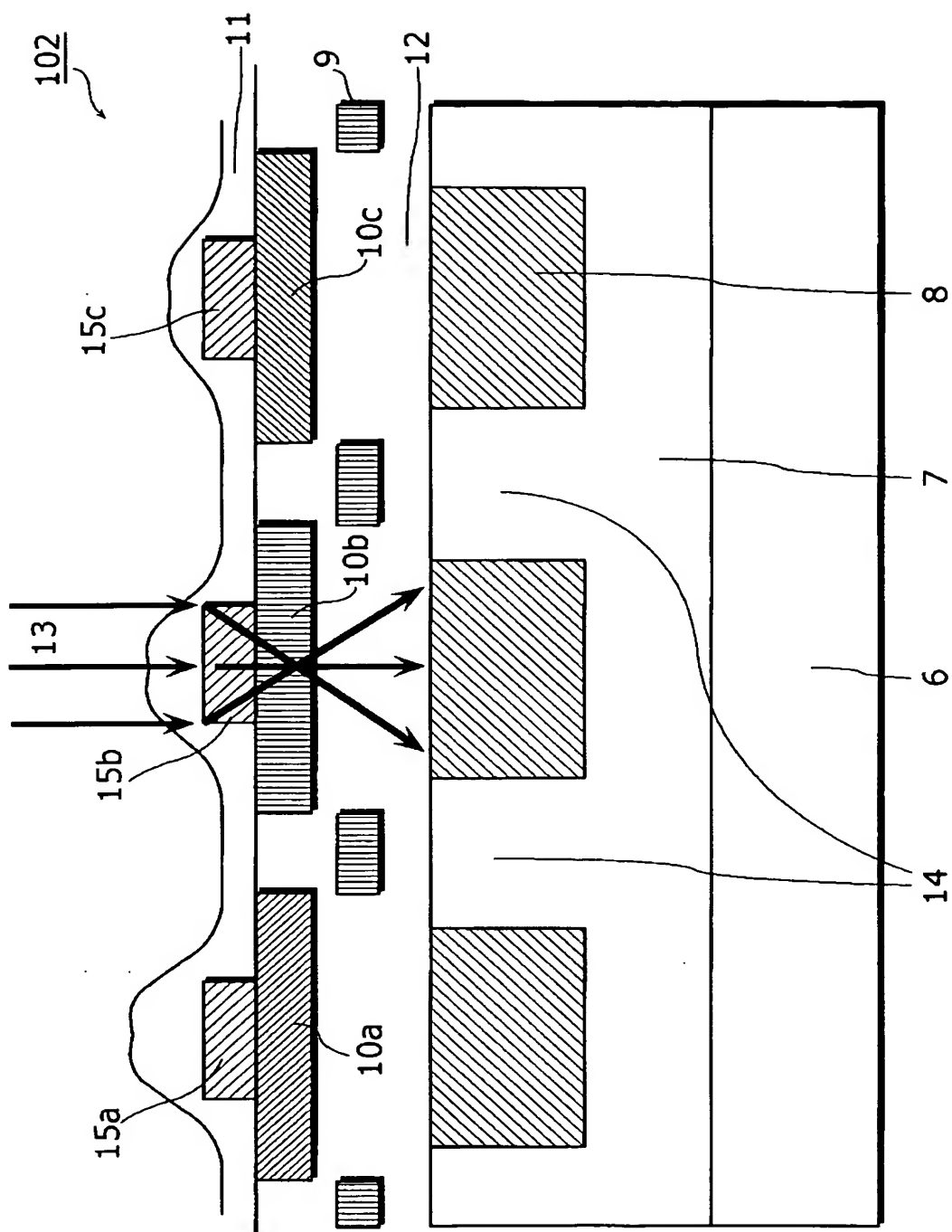
[図2]



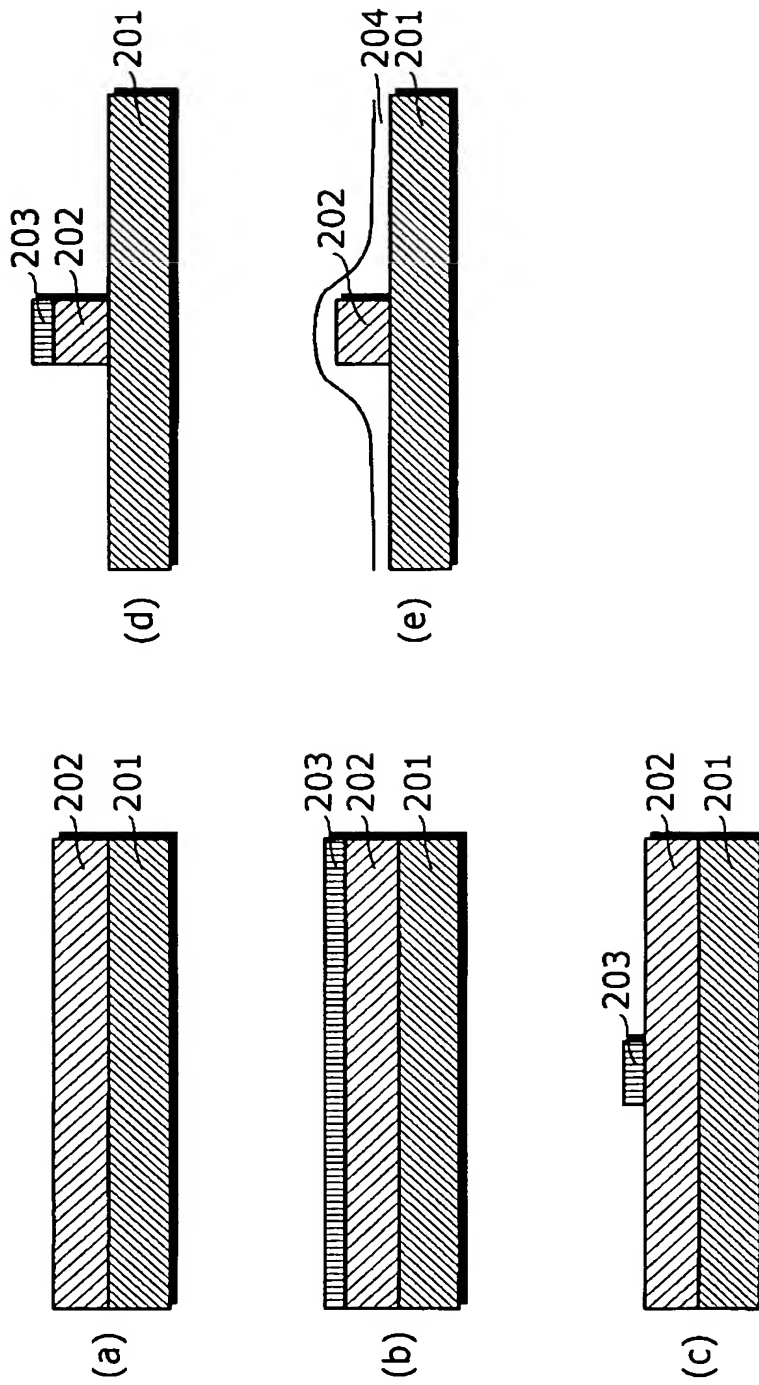
[図3]



[図4]

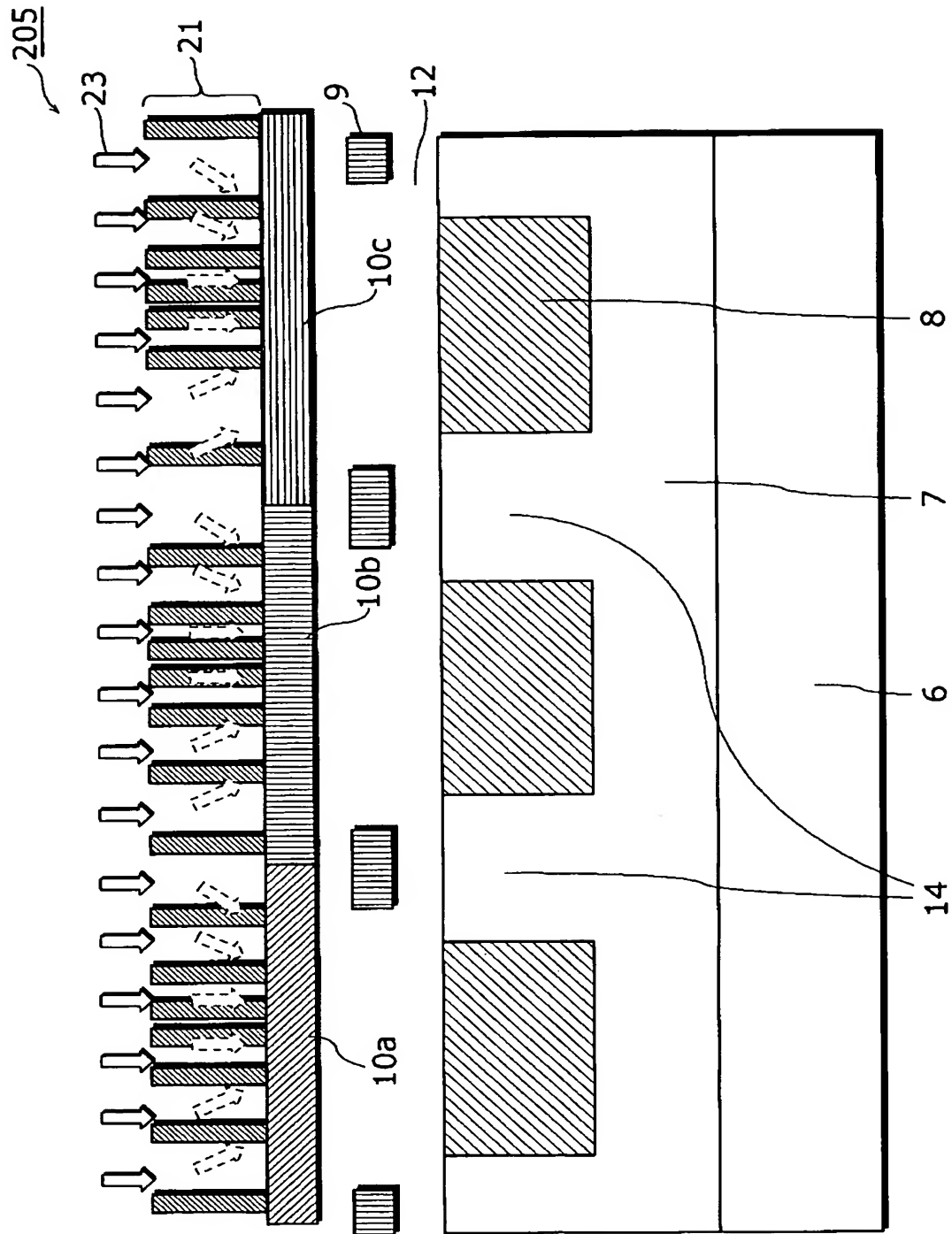


[圖5]

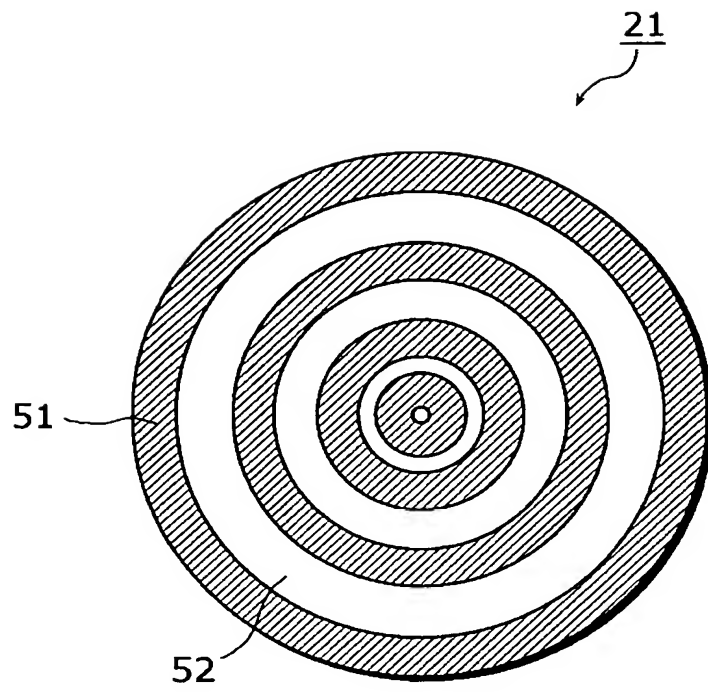




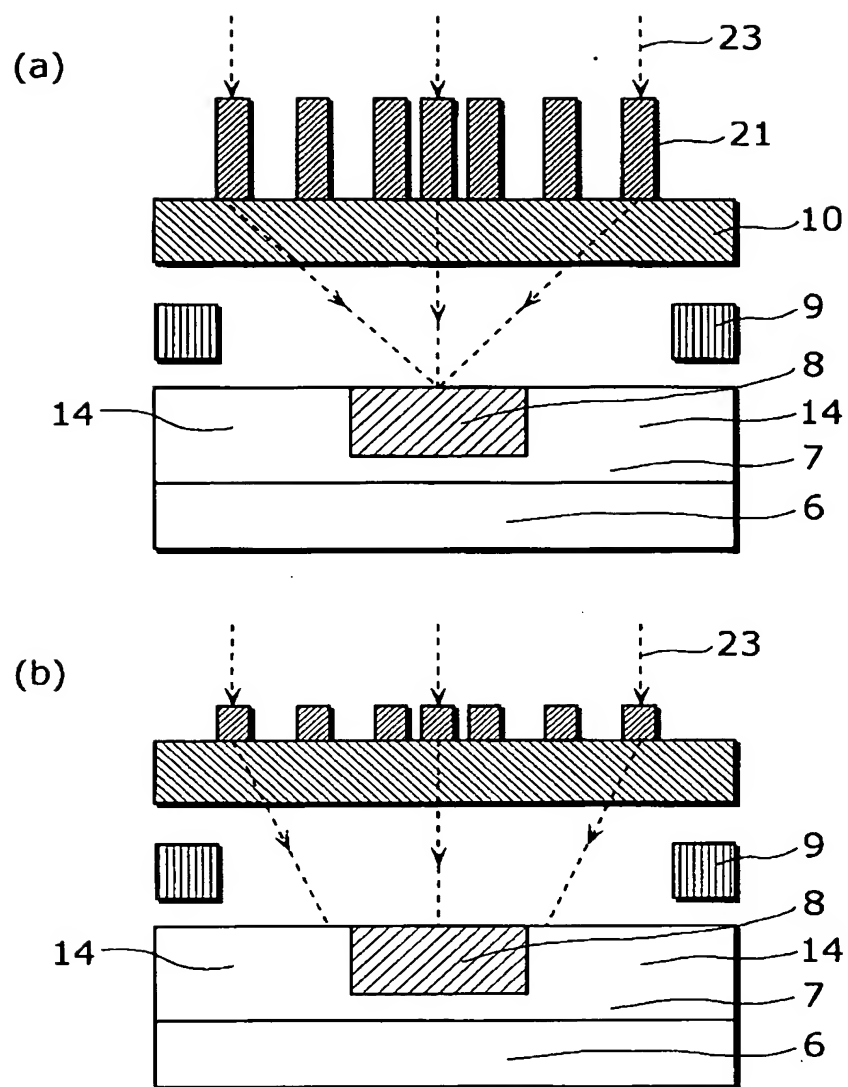
[図6]



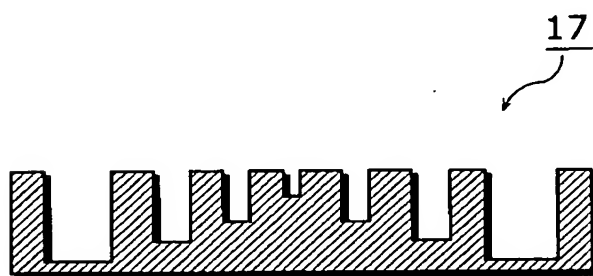
[圖7]



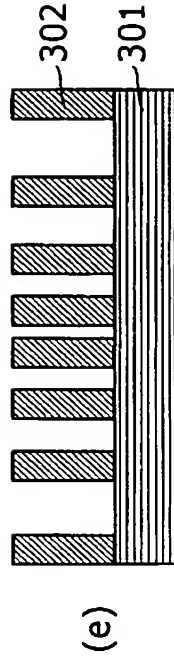
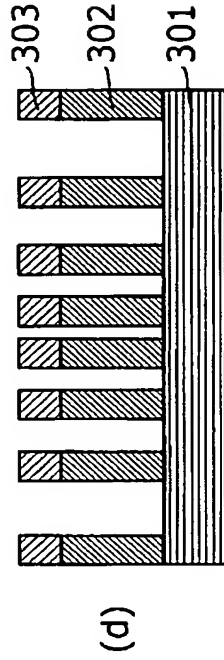
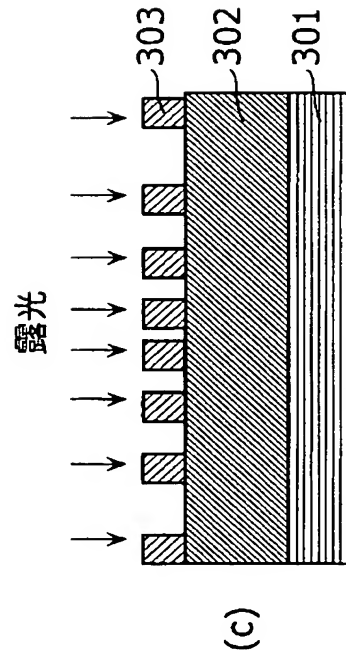
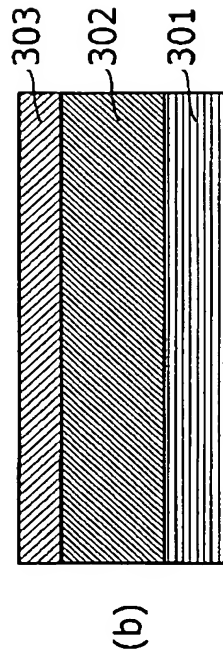
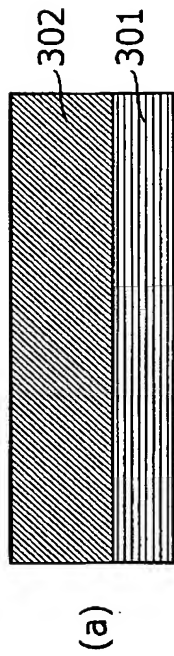
[図8]



[図9]

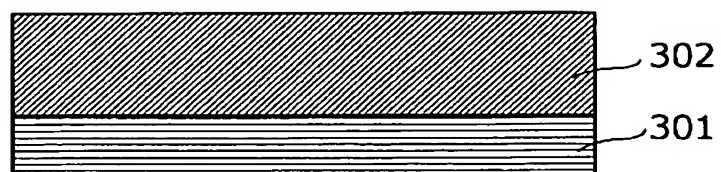


[圖10]



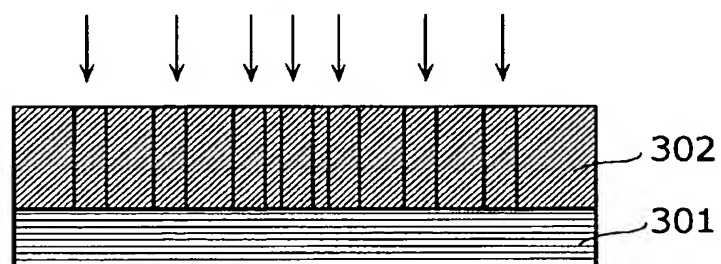
[図11]

(a)

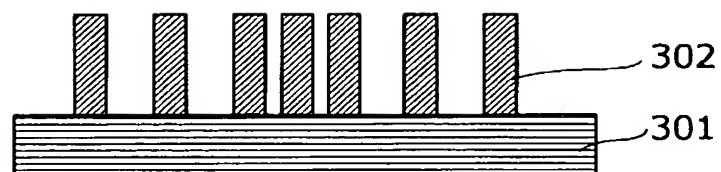


露光

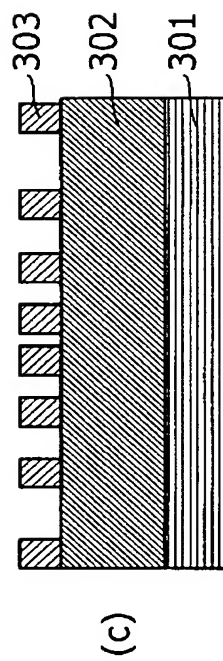
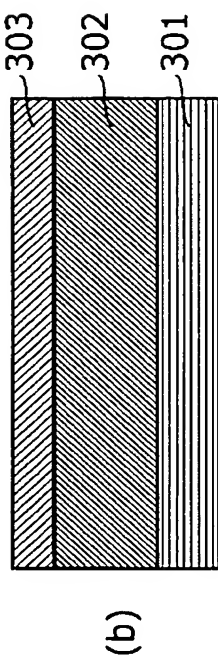
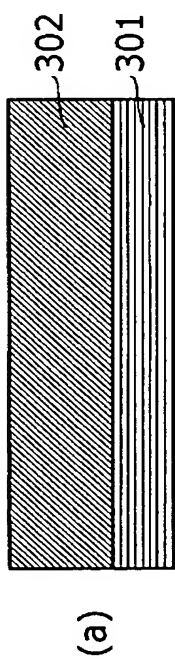
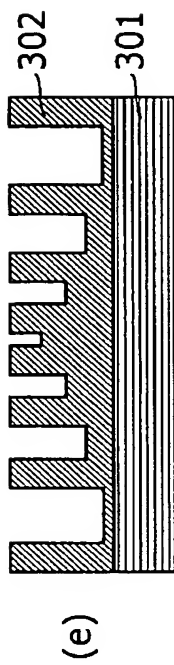
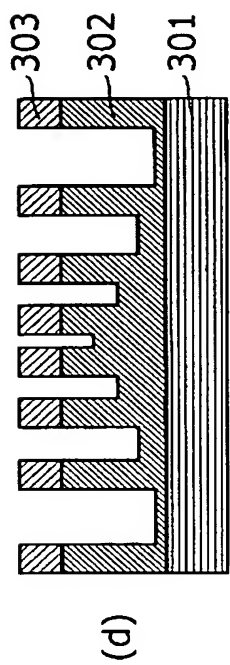
(b)



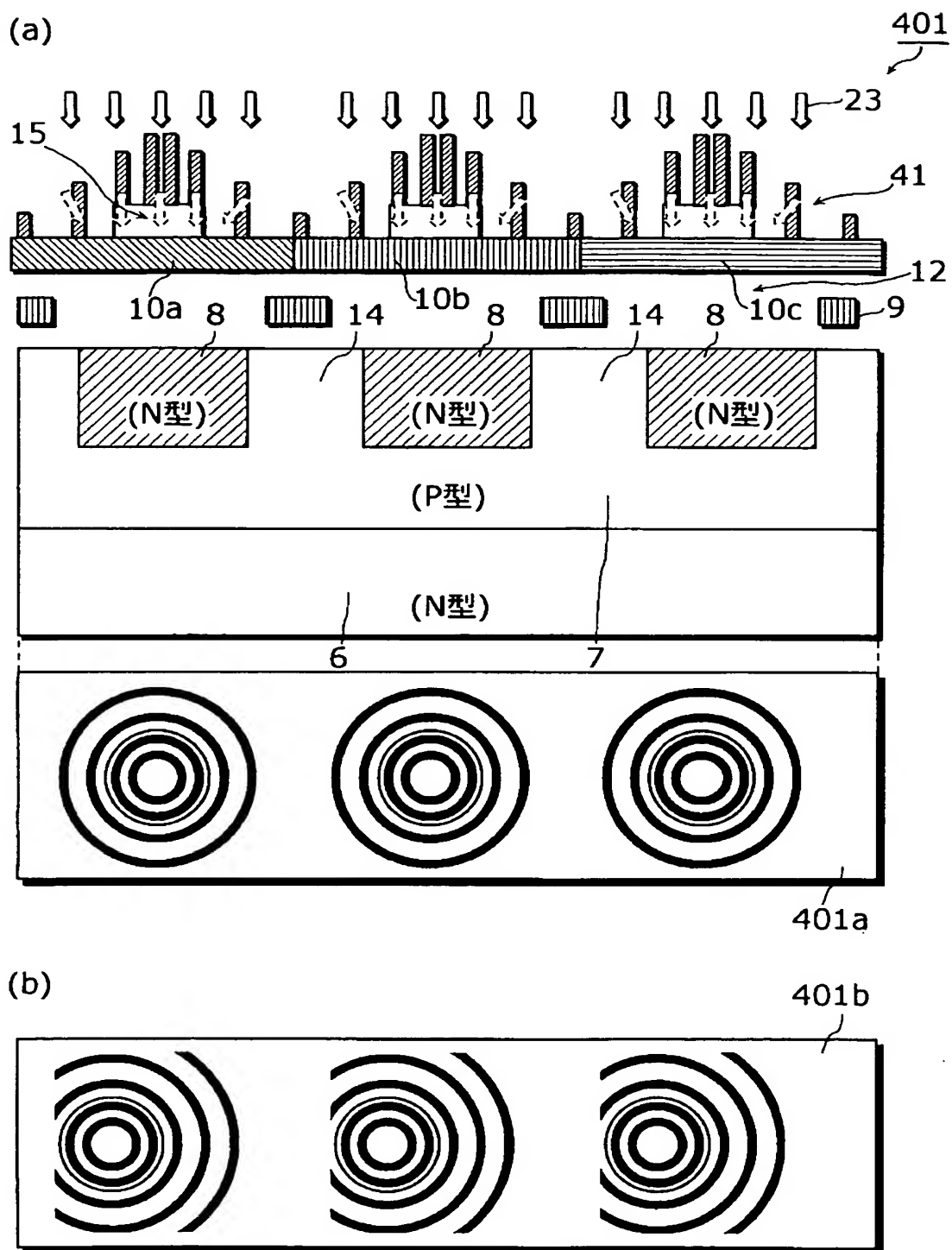
(c)



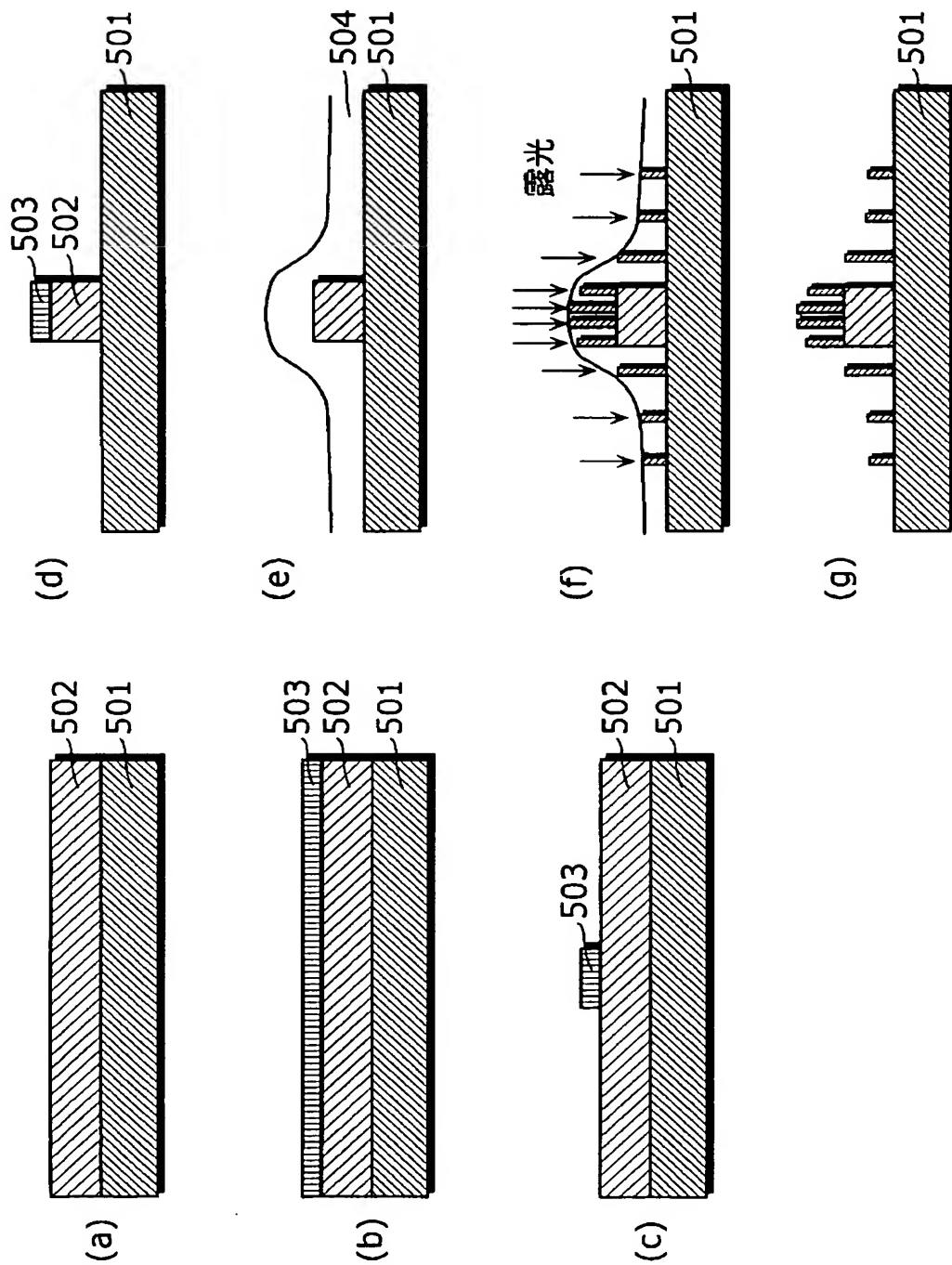
[圖12]



[図13]

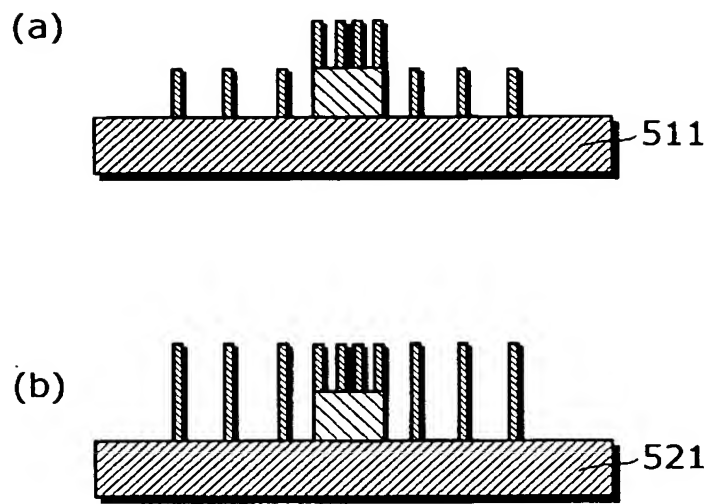


[圖14]

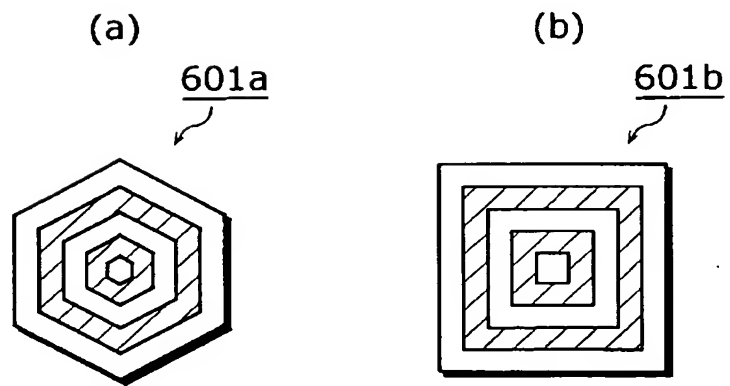




[圖15]



[圖16]



[図17]

